

## CAPITULO VII

### CIRCULACION Y MASAS DE AGUA DE LOS OCEANOS

#### INTRODUCCION

Debe ser claro que de una forma u otra la energía o la radiación del sol es la responsable de la circulación en los océanos. Esta produce la circulación en la atmósfera y esta circulación produce la circulación en los océanos.

Hay dos tipos de circulación:

1- termohalina: cambios de densidad

2- eólica: cambios climáticos

#### 7.1 CIRCULACION TERMOHALINA

El término se refiere a la circulación o movimientos del agua cuando hay cambios de densidad producidos ya sea por cambios en temperatura y salinidad.

El calor en el océano es distinto a calentar agua en un “beaker” por debajo, donde el agua ascendería. El océano es calentado por encima. Sabemos que si un extremo de un tanque de agua se calienta desde la superficie, esta agua se expande y por lo tanto sube su nivel. Esta diferencia de nivel con respecto al lado frío hace que fluya agua desde la caliente a la fría (aunque no es una circulación en sentido estricto). Así en nuestro globo terráqueo es conocido el mayor calentamiento en las latitudes bajas y por lo tanto hay un flujo hacia los polos. Aunque esto ocurre, no es el único responsable en la formación de corrientes.

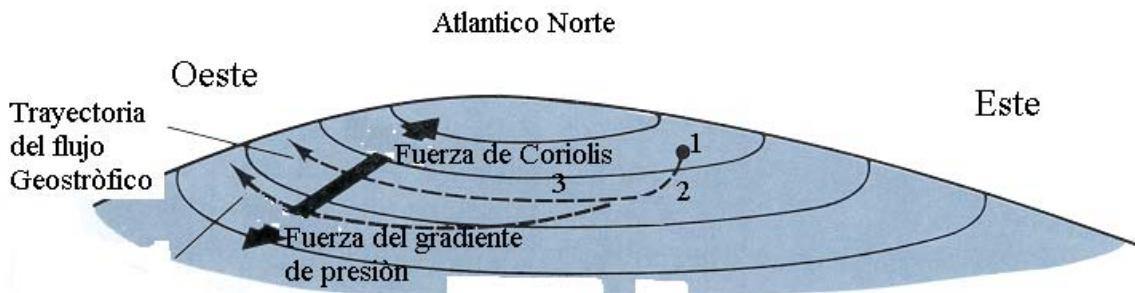


Fig. 7.1 Esquema de la formación de una corriente geostrófica.

En ella se nota como un desnivel en la superficie del agua produce un movimiento (etapa 1) en

la dirección gradiente de presión, o sea, de lo mas alto a lo mas bajo. Pero debido a la rotación de la tierra, una vez que se inicia el movimiento, la fuerza de Coriolis modifica su dirección desviándola hacia la derecha (etapa 2) en el Hemisferio Norte (izquierda en el Hemisferio Sur), hasta que la fuerza del gradiente de presión (P) y la fuerza de Coriolis (C) lleguen a equilibrarse. Esto lo logra cuando ambos estén en dirección opuesta (etapa 3), haciendo que la dirección del fluido sea siempre perpendicular ambas fuerzas, estando siempre a la derecha de ella la fuerza de Coriolis (C) y en la izquierda la fuerza del gradiente de presión (P) en el Hemisferio Norte (contrario en el Hemisferio Sur). Este es el origen de la mayoría de grandes corrientes en el Océano, entre ellas muy conocidas: Corriente del Golfo, Corriente de Kuroshio, y que son llamadas corrientes geostróficas, y que son termohalinas en su origen.

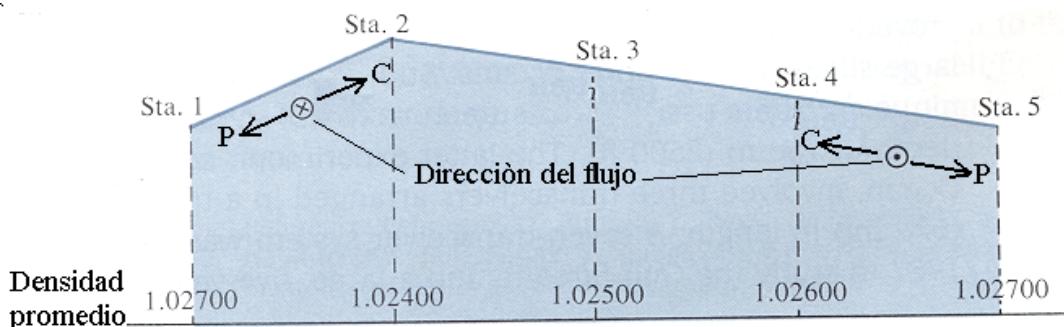


Fig. 7.2. Equilibrio geostrófico sobre la superficie del océano.

Así por ejemplo, en gráfica anterior el equilibrio geostrófico entre la fuerza del gradiente de presión y la fuerza de Coriolis entre estación 1 y 2, obliga al flujo a moverse hacia dentro de la hoja, mientras que entre la estación 2 y 5, el movimiento es hacia fuera de la hoja, tomando como si estuviera en el hemisferio norte. En el hemisferio sur el movimiento es al contrario para ambas secciones: es decir hacia fuera entre estación 1 y 2, y hacia adentro entre estación 2 y 5.

Otras corrientes termohalinas se producen en altas latitudes. Se sabe que hay una pérdida de calor en los polos. El agua se enfriá lo que produce aumento de densidad y entonces se hunde. Así la circulación termohalina se produce por aumento de densidad por dos razones:

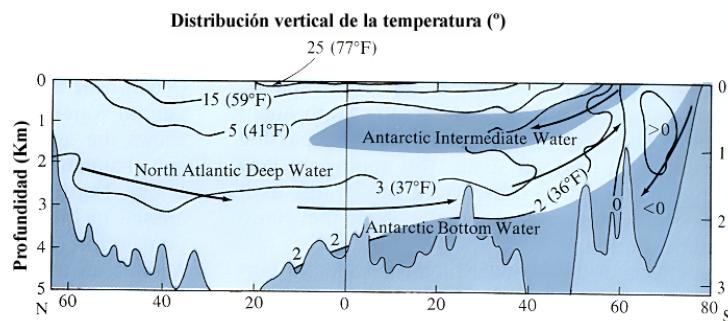


Fig. 7.3. Distribución temperatura con profundidad en el Océano Atlántico.

1- enfriamiento en la superficie

2- aumento en salinidad al formarse el hielo

Esta agua al hundirse ocupa las profundidades medias y profundas de los océanos.

En los trópicos hay evaporación, lo que implica un aumento de densidad, pero hay calentamiento. Por eso se pueden tener aguas más salinas en la superficie, porque el efecto de temperatura es mas importante que el aumento de salinidad.

## 7.2 CIRCULACION EOLICA

Se realiza en los cientos de metros de la capa superficial, y por lo tanto, es una circulación horizontal mas bien que vertical como la termohalina.

Básicamente el viento al soplar sobre la superficie mueve el agua por fricción, pero debido al efecto de la rotación de la tierra, Fuerza de Coriolis, el transporte neto es realmente a la derecha (o  $90^\circ$ ) de la dirección del viento.

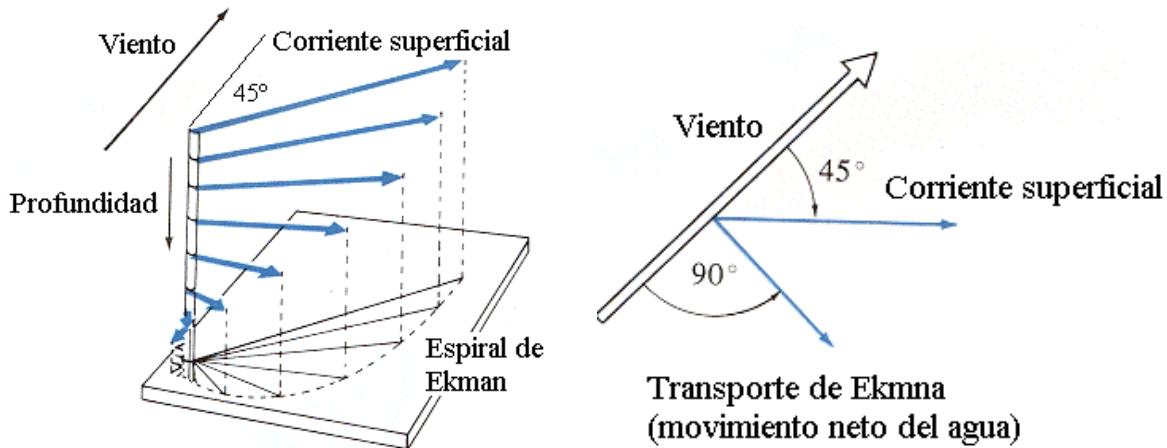


Fig. 7.4. Espiral de Ekman.

Nótese en esta figura como el agua en la superficie se mueve exactamente a  $45^\circ$  respecto de la dirección de viento debido a la Fuerza de Coriolis. Como hay fricción entre las capas del agua, conforme se aumenta la profundidad cada capa tiene menos velocidad y el equilibrio entre fuerzas: fricción entre el viento y el agua, fricción entre las capas de agua y Coriolis, hace que cada una de ellas rote más a la derecha con respecto de la capa de arriba, produciéndose de esta manera una espiral, conocida como la Espiral de Ekman. El fluido rota hasta  $180^\circ$  respecto de la dirección en superficie, pero en promedio se dice, que el transporte es a  $90^\circ$  respecto de la

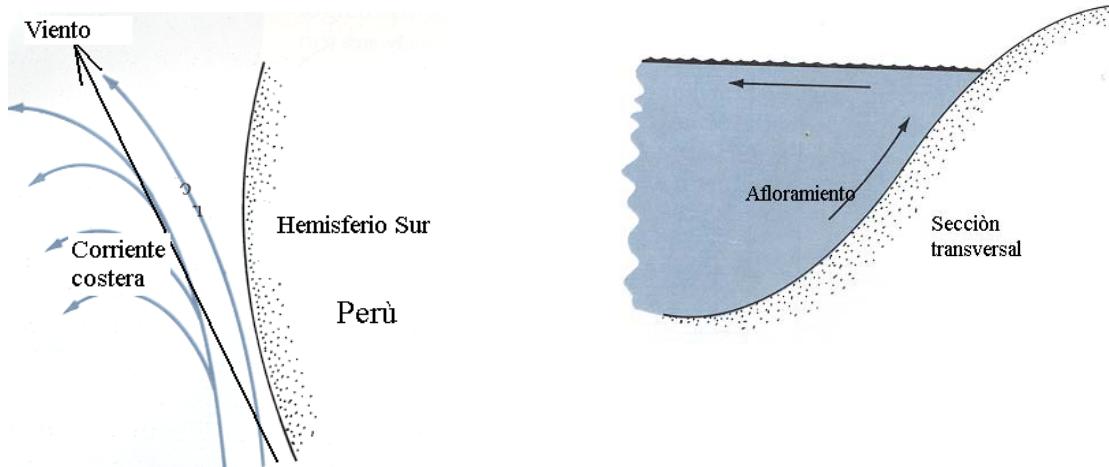
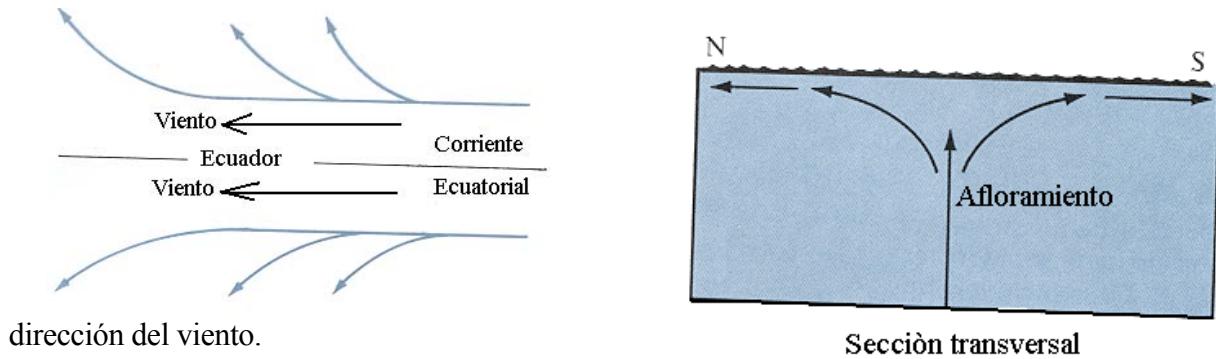


Fig. 7.5. Zonas de afloramiento por Transporte de Ekman.

Nótese que aunque el viento causa movimiento básicamente horizontales, puede causar movimiento vertical como en el Ecuador, o cerca de la costa como en la costa de Perú (o en la costa de California), como muestra la siguiente Figura 7.5:

Este transporte de Ekman, que en promedio es a los  $90^{\circ}$  de la dirección del viento, nos explica el afloramiento que encontramos en algunas regiones de nuestro planeta, como por ejemplo en Perú. Mediante este mecanismo también se explica el porqué en el Ecuador, a pesar de la gran cantidad de radiación solar, y que inhibe los procesos biológicos, encontramos gran riqueza<sup>26</sup> marina.

### 7.3 CIRCULACION Y MASAS DE AGUA

Para hablar de ello debe dividirse el mundo (o los océanos) por partes. Por ejemplo: Atlántico Ecuatorial del Norte o Atlántico Ecuatorial del Sur, y sus mares adyacentes, como el Mar Mediterráneo, o el Mar de Labrador. Pero debe tenerse en cuenta, que cada división que se haga, es influenciada por los mares de afuera.

Cuando se estudia circulación y masas de agua (estudio del carácter del agua: temperatura (T),

salinidad (S), densidad ( $\alpha$ ), oxígeno disuelto ( $O_2$ ), contenido de nitrato ( $NO_3$ ), etc.), no se sabe que se estudia primero. Es igual que quien fue primero: la gallina o el huevo. En este libro, el autor sugiere estudiar en las capas de arriba circulación, y en las capas profundas, masas de agua.

Desde el análisis de la bitácora de navegación de los barcos nosotros sabemos mucho de circulación superficial y principalmente del Pacífico y Atlántico Norte por ser de mas tráfico. Así, como la capa superficial es movida por el viento nosotros podemos obtener su circulación primero y luego sus características, ya que estas dependen de la circulación. En masas de aguas profundas se debe estudiar primero sus características y luego de ellas se puede inferir el tipo de circulación. Actualmente se puede saber de la circulación profunda anclando medidores de corriente o con derivadores con boyanza vertical. Esta información se tenia de pocos lugares, pero con programas como los de WOCE (Word Ocean Circulation Experiment), se esta haciendo a nivel global.

Que es lo que llamamos capa superficial?. A la capa encima de la cual el decrecimiento de  $T$  con profundidad es pequeña. Puede ser entre 300 y 1000 metros. Es una capa muy estable. La capa profunda es menos estable. Mientras que la capa en contacto con el fondo tiene propiedades distintas y es llamada "agua de fondo".

La circulación oceánica responde al patrón general de la circulación atmosférica. El viento

sobre la superficie del océano es realmente el motor de las grandes corrientes oceánicas superficiales que conocemos. Este patrón de viento es en promedio permanente, solo se rompe en eventos extraordinarios como el Fenómeno de El Niño, en donde este cambia el patrón de circulación del viento, que a la vez cambia el patrón de circulación del océano. El patrón de viento promedio se muestra en la Fig. 7.6:

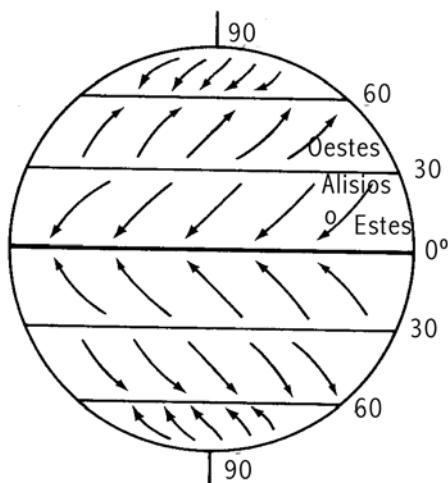


Fig. 7.6. Patrón promedio de la circulación del viento sobre la superficie del planeta.

La circulación en los océanos es muy similar, solo se diferencian en detalles. En general, hay circulación a favor de las manecillas del reloj en el Atlántico y Pacífico Norte, y una circulación contra reloj en el sur (Atlántico, Pacífico e Indico).

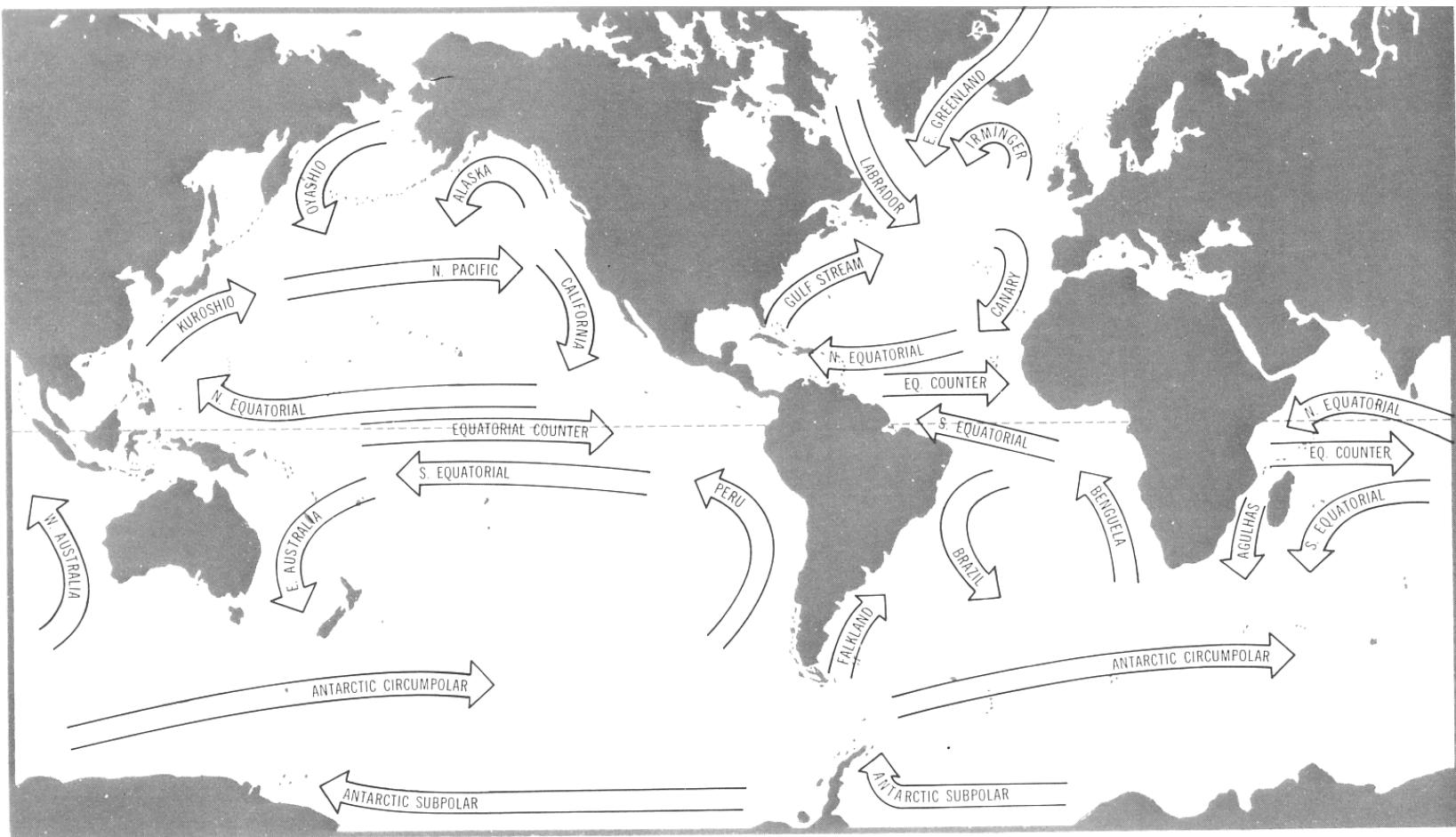


Fig. 7.7. Principales corrientes oceánicas superficiales en nuestro planeta.

En el Pacífico y Atlántico hay una intensificación de las corrientes sobre los lados oeste de los océanos (Corriente del Golfo y Corriente de Kuroshio).

Hay alguna evidencia de intensificación en el Atlántico Sur y Océano Índico, pero al oeste del Pacífico Sur, la circulación es compleja y no es claro que se intensifique.

En el Ecuador los tres océanos tienen una corriente fluyendo hacia el oeste en o al sur del Ecuador: la Corriente Ecuatorial del Sur, y también hacia el oeste al norte del Ecuador, la Corriente Ecuatorial del Norte.

En los tres océanos estos dos flujos hacia el oeste están separados por un flujo hacia el este: la Contracorriente Ecuatorial. Estas contracorrientes se derivan de las variaciones de fricción del viento desde el norte y sur del Ecuador, en la Zona de Confluencia Intertropical.

Otra característica del sistema ecuatorial es la Corriente Sub-superficial que fluye hacia el este, cerca de 100 metros de profundidad, producida por el acumulamiento de aguas en el oeste de los océanos por el viento en la superficie (vientos alisios).

La circulación en las aguas profundas es un flujo hacia el norte y sur, y más intenso sobre los lados oestes, como lo habíamos visto en una gráfica del modelo de circulación de Stommel.

La corriente más voluminosa es la Corriente Circumpolar Antártica (Fig. 7.8), dada la permanencia de los vientos oestes sobre esta zona y a la no existencia de barreras continentales a lo largo de estas latitudes.

Fig. 7.8. CCA

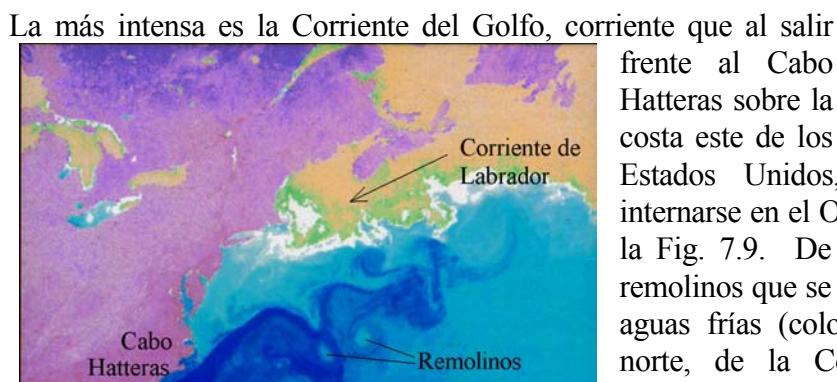
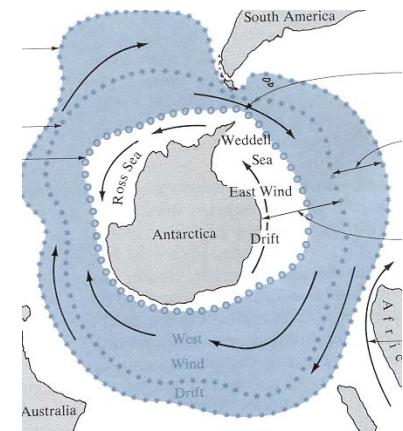


Fig. 7.9. Imagen infrarroja de la temperatura superficial del océano Atlántico. Y que tanto teórico será este patrón de

corrientes superficiales?. Para responder esto, el proyecto WOCE estudió el Pacífico Tropical por algunos años, y los resultados se muestran en la figura siguiente:

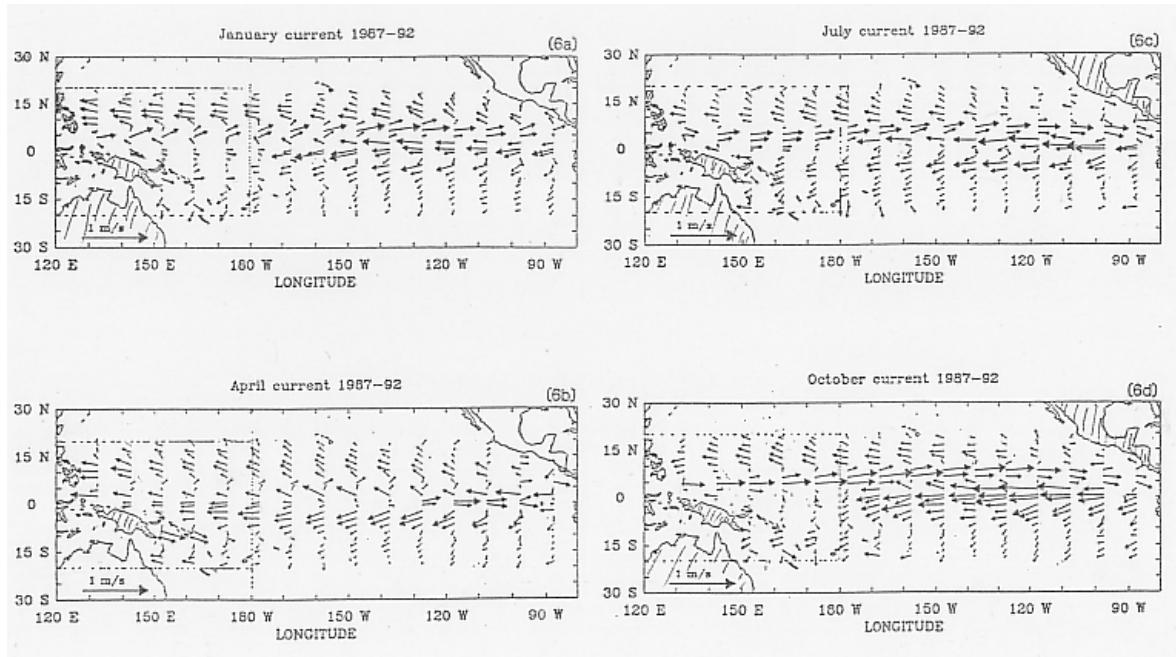


Fig. 7.10. Mediciones de corrientes superficiales entre 1987 y 1992 el Pacífico Tropical.

Es evidente el patrón de circulación ecuatorial que se deduce del patrón de los vientos promedio.

Es oportuno mencionar que algunas de las especies marinas que encontramos en la Isla del Coco de Costa Rica y en las costas del Pacífico Ecuatorial de Centroamérica y Suramérica, tienen origen en el Indo-Pacífico. Solo a través de una corriente que viaje de oeste a este podría explicarse la existencia de estas especies en nuestras costas. Es indudable la existencia de la Contracorriente Ecuatorial que viaja de oeste a este, y que en el mes de octubre es claramente intensificada.